

新ヤマハ銀座ビルの音響設計（その2）*

ーヤマハホールの音響設計ー

○ 宮崎秀生, 山下真次郎（ヤマハ（株）サウンド・IT開発室）

司馬義英, 田中亜美（日建設計）, 清水寧（東京工業大学 総合理工学研究科）

1 はじめに

新ヤマハ銀座ビルの中核施設である7～9階に位置する333人収容のヤマハホールの音響設計にあたっては、アコースティック楽器に最適、かつここでしか味わえない音の魅力を備えた小ホールをコンセプトに検討を進めた。本報ではヤマハホールについて施設の概要を紹介すると共に、設計・施工段階で行った音響検討について報告する。

2 音響設計概要

ホールの内観を写真1に、平断面図を図1に示す。上記コンセプトを実現するにあたり、①豊かな響き（残響感）、②芯のある鮮明な音（明瞭性）、③演奏のし易いステージ、④響きの多様性、を音響設計のポイントとして、室形状・内装の検討を行った。設計ポイントと実際のホール構成との対応を図2に示す。

①については、敷地の制約がある中で天井高を可能な限り確保し、上部に向かって広がる形状とすることで、 7.6m^3 と比較的気積が小さい音場であっても上方から降り注ぐ豊かな残響感が得られる様にしている。また乾式壁主体でありながら低域まで豊かな響きを得られる様に



写真1 ホール内観

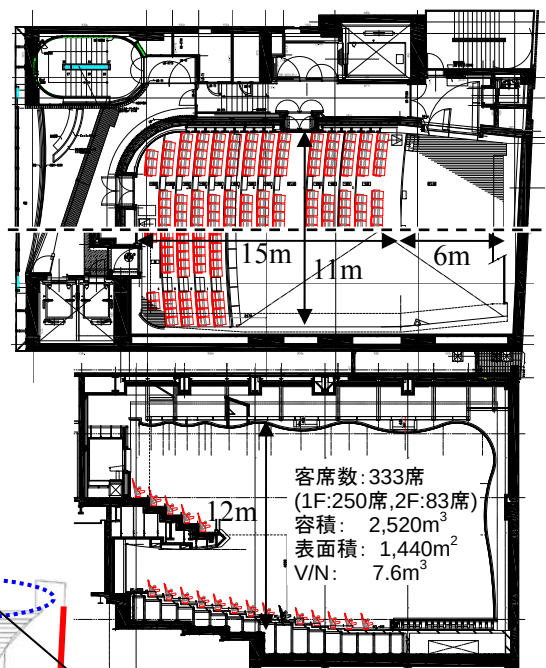


図1 ホール平断面図

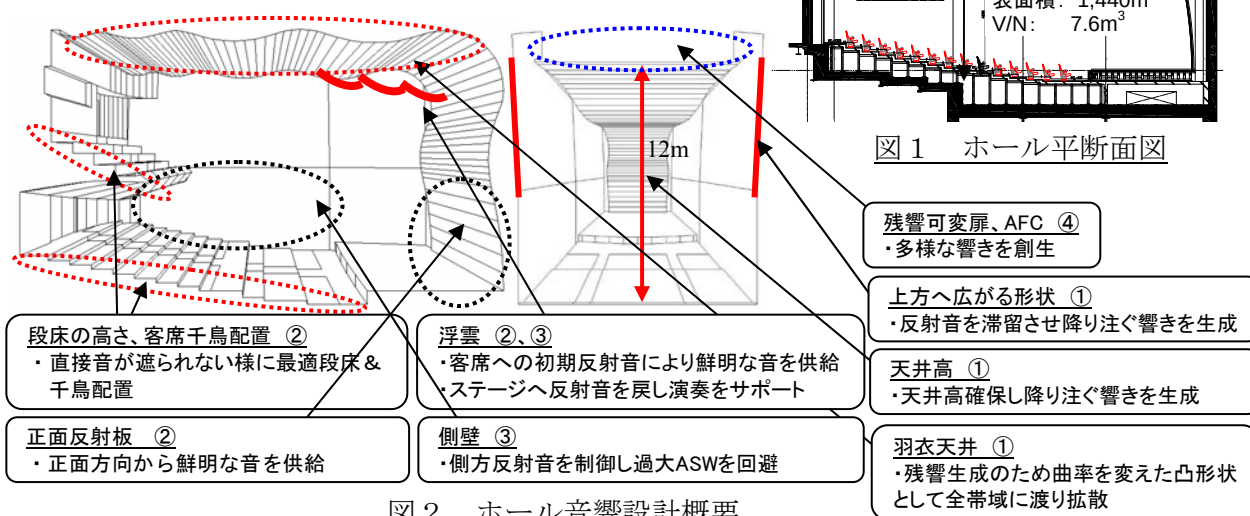


図2 ホール音響設計概要

* The Acoustical Design of the New YAMAHA Ginza Building, Part 2—Acoustical Design of Yamaha Hall— by Hideo Miyazaki, Shinjiro Yamashita (Sound & IT Development Division, Yamaha Corp.), Yoshihide Shiba, Ami Tanaka (Nikken Sekkei) and Yasushi Shimizu (Department of Built Environment, Tokyo Institute of Technology)

側壁及び天井はFGボード4層とし、特に初期反射音生成に重要な舞台周りと側壁下部は鉛シートを挟み込んでいる。③については、高天井による上方からの初期反射音不足をサポートする為に舞台上部に浮雲を設置している。

④については、高吸音の天井裏に繋がる扉を開閉することで吸音調整を可能としている。また音場支援システム：AFC^[1]の導入により、最大3秒まで残響延長が可能で、①で目指した降り注ぐ響きをより追求している。

②については、豊かな響きの中でもピアノシモまで芯のある音を客席へ届けるため、段床、正面反射板・浮雲の形状を決定している。一方、拡がり感向上に寄与する側方反射音は、室幅が狭い小ホールでは強くなり過ぎ、音の輪郭をぼかす可能性がある。そこで、特に側方反射音の制御に着目し、音像に関する指標であるASWを用い、設計段階で模型実験や音響シミュレーションによる側壁形状の比較検討を行った。

3 側壁形状の検討

3.1 側壁形状の設計コンセプト

側壁のデザインは、音響的には側方反射音の制御というコンセプトがあり、一方、意匠的には時間的な変化やゆらぎを表現したファサードデザインである斜め格子の踏襲というコンセプトがあった。そこで、斜め格子の間に形成される◇面を傾け、反射音の方向性・拡散性を制御することで、音響と意匠の両立を図った。各◇面は800mm角で、意匠チームと協議の上、傾斜は前下方向または後上方向とし、角度は最大15度とした。

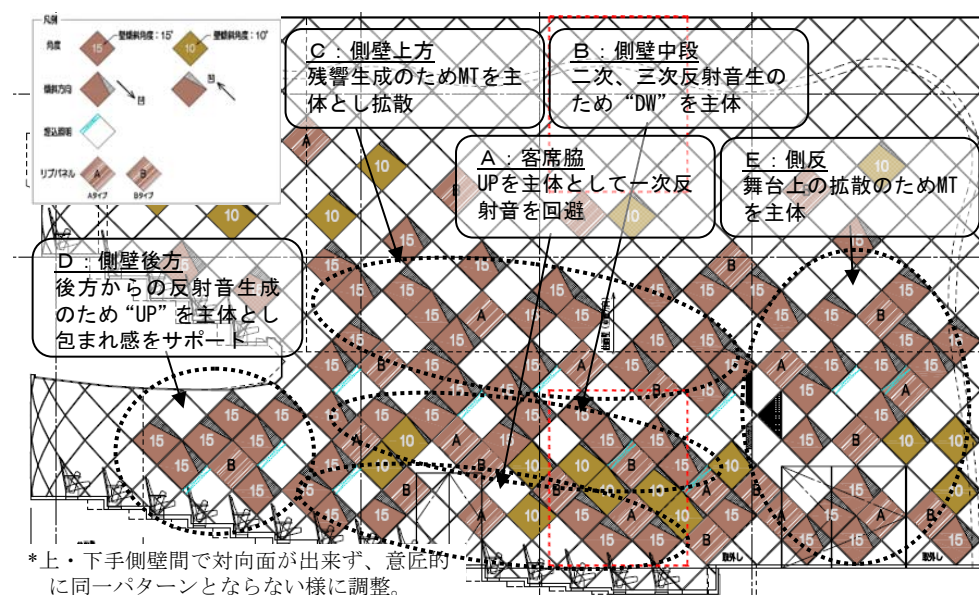


図4 側壁パターン（下手側）

3.2 縮尺模型実験による側壁形状の検討

側壁の反射（散乱）特性を把握するため、◇面の1/5縮尺模型（160mm角）を作製し、1.2m角（実寸6m角）の枠の中に並べて側壁パターンを構成し、無響室内において反射音のポーラパターンを測定した。基本的な性状を把握するため、側壁パターンは、全て前下方向：DW、全て後上方向：UP、山型をずらした形状：MT、とした。（図3）

例として図5に入射仰角 $\alpha=45$ 度、入射方位角 $\beta=0$ 度、実物換算1kHzの結果を示す。DWでは、音源の入射方向に対する◇面の傾きに応じた幾何反射方向のエネルギー（反射方位角 $R\beta=135$ 度）が大きい。UPでは、DWと同様の幾何反射方向以外に、 $r\beta=30\sim90$ 度方向の反射が見られる。これは各パネルのエッジ部分の立ち上がり面からの反射音が生じていると考えられる。MTについては様々な方向に拡散している様子が見られる。



図3 模型実験概要

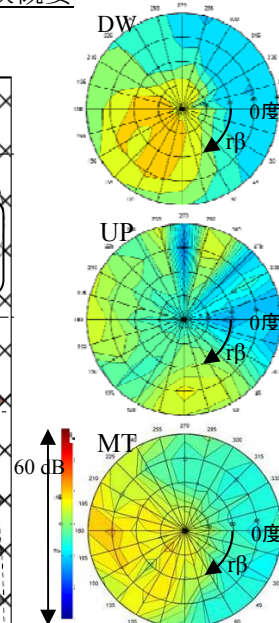


図5 側壁散乱特性

（入射仰角45度、方位角0度、実物換算1kHz）

以上の結果と設計コンセプトを元に、側壁を5つのエリアに分け、それぞれ図6に示す様な基本方針とした。その上で詳細については意匠チームと調整をして最終案を決定した。なお、下方のフラット面には表面にランダムリブを設け、高域の散乱によりグレアを回避している。

3.3 音響シミュレーションによる検討

模型実験で決定したパターンについて、幾何音響シミュレーション（CATT-Acoustic™）により他形状との比較検討を行った。検討には、音像に関する指標値として ASW に着目し、森本等が提案している次式を参照した^[2]。

$$ASW = -39.6 \times DICC + 1.55 \times BSPL - 31.9$$

$$BSPL = 6 \log_2(2^{Ll/2} + 2^{Lr/2}) \quad \text{①}$$

LI：左耳 SPL、Lr：右耳 SPL

なおこの式は実験音場内での聴感試験より求めた実験式であり、実音場に適用する事については議論の余地があるが、比較検討には適用の可能性があるとしてここでは採用した。

比較した形状は図8、表1に示す様に、ヤマハホール形状については最終形状と、全てをフラット：FL、前下向き：DW、後上向き：UP、とした計4形状を、また同規模音場として2形状（X、Yホール）を比較した。なお、X及びYホールについては、関係者と実音場にて試聴を行い、そのASWを評価すると同時に目標感のレベル合わせを行った。その結果、Yホールについては側壁の拡散が少なくASWが目標より大きく、またXホールについては横幅がヤマハホールより広くASWが目標よりは若干小さ目となっており、その中間値を最終目標とした。

音源はショパンの幻想曲の前半約30秒を用い、算出した右耳、左耳位置でのインパルス応答をたたみ込んで①式によりASWを算出した。測定点は1F席の計27点とし、その平均値で評価した。

表1 比較ホール形状諸元

	I-IV)ヤマハホール	V)Xホール	VI)Yホール
席数	333人	—	300人
容積	V=2,520m ³	V=3,595m ³	V=2,190m ³
客席	W=11.0m D=15.0m H=12.0m	W=14.0m D=22.0m H=12.0m	W=11.0m D=18.0m H=8.3m
舞台	W=11.0m D=6.0m	—	W=11.0m D=6.0m
RT	1.6秒	1.5秒	1.6秒

各形状の計算結果を図9に示す。I)最終形状、V)Xホール、VI)Yホールを比較すると、Yホール（89.2度）、最終形状（86.6度）、Xホール（84.1度）の順で大きく、設計目標に合った結果となっている。

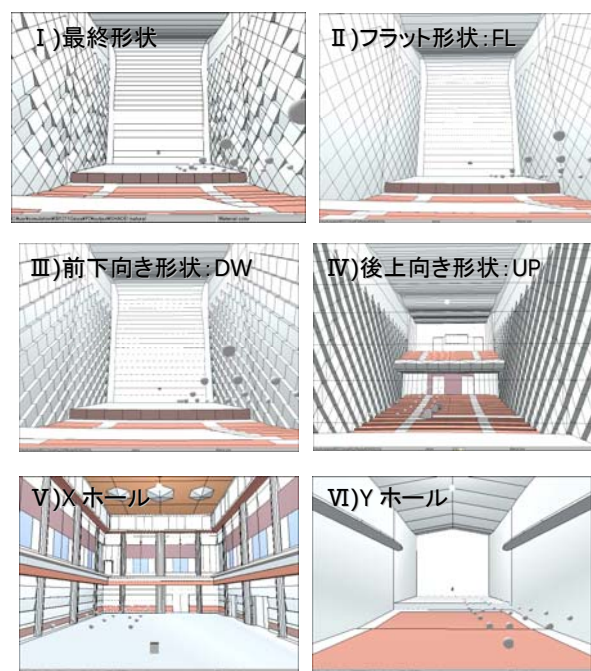
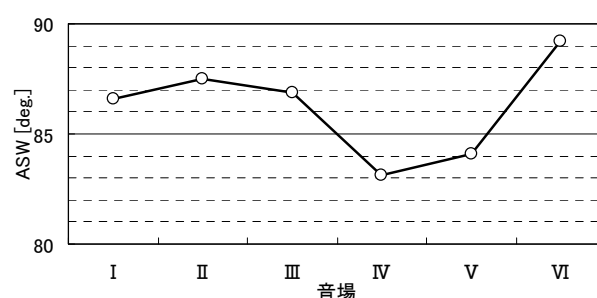


図6 比較ホール形状



ASW	I. 最終	II. FL	III. DW	IV. UP	V. Xホール	VI. Yホール
Ave.	86.6	87.5	86.9	83.1	84.1	89.2
偏差	2.7	2.8	3.3	4.0	4.3	2.5

図7、表2 ASW値の比較 [度]

3.4 試聴実験による比較検討

上記の結果を聴感的に確認するため、比較試聴実験を行った。シミュレーションの各形状について、方向別のインパルス応答を計算し、ドライソース（ショパン：幻想曲）をたたみ込み、6方向可聴化システム^[3]により各音場を合成した。測定点は、代表点として音源から約12m離れたホール中央とした。試聴実験では、各音場についてのASWをSD法により評価した。被験者は音響設計者6名と録音エンジニア1名の計7名とした。

各被験者の結果および平均値を図8に示す。V)X ホール、VI)Y ホールと比較すると、Y ホール>最終形状>X ホールとなっており、設計目標に合った結果となっている。また①式による ASW 値 (図7) の結果とも同じ傾向となっている。II)フラット形状:FL、III)前下向き形状:DW、IV)後上向き形状:UP を加えた結果も、ほぼ図7と同じ傾向となっており、設計段階で ASW 評価として①式を用いる可能性が示唆されたと言える。

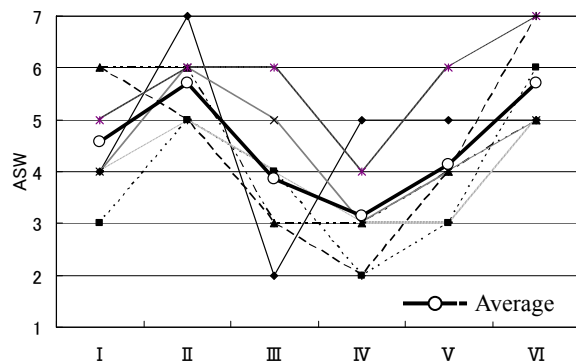


図8 ASW 聴感実験結果

4 ホール舞台床の設計

舞台床には楽器製作技術の一つである ARE 処理^[4]を導入した。ARE は、気圧と温湿度を制御し、木の物性値を変化させることで、経年変化と同様の効果が得られる技術で、既にアコースティックギター等の響板に利用されている。ヤマハホールでは、図9に示す舞台床構成の内、表面の桧 (無垢材 40mm) と下地の杉板 (無垢材 15mm×2) について ARE 処理を行った。ARE の効果を検証するため、設計段階で処理を行った木と通常の木を使ってそれぞれ舞台サンプルを作成し比較検討を行った。インパルスハンマーで加振した際の応答を図10に示す。ARE 舞台ではほぼ全ての帯域でレベルが上がっている。また実際の演奏 (ピアノ、チェロ等) による試聴も行った。演奏者と聴者からは、音量が上がった、明るくなった、クリアーになった、といったコメントが得られた。

5 実測結果

竣工後に行った残響時間の測定結果を図11に示す。

6 おわりに

小ホールの設計で課題となる過大な側方反射音を制御するために、ASW に着目してシミ

ュレーションや可聴化により音響設計を進めた。また舞台床については新しい技術の導入を試みた。その結果、一連の設計手法としての可能性が示されたと言える。今後は演奏者・聴者の評価や実測結果を参考にしながら設計手法を確立していきたい。

謝辞

ASW に関して貴重なご意見を頂いた千葉工業大学の飯田一博教授に深謝いたします。

参考文献

- [1] Miyazaki *et al.*, AES 115th Convention, Oct. 10-13, 2003.
- [2] Morimoto *et al.*, J. Acoust. Soc. Jpn. (E) 16, 2, 1995.
- [3] 横山他, 電気情報通信学会信学技報, HDA2000-13, 2000.
- [4] <http://www.yamaha.co.jp/product/guitar/acg/l-are/index.html>

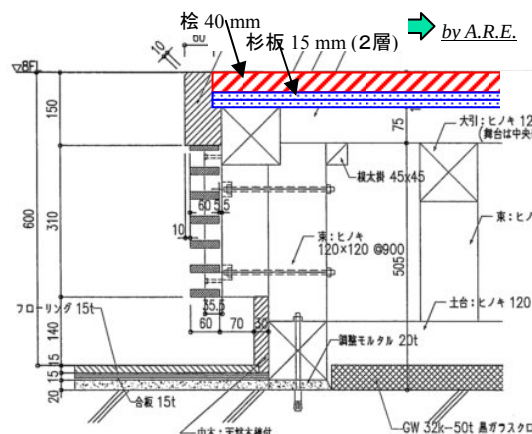


図9 舞台床の構成

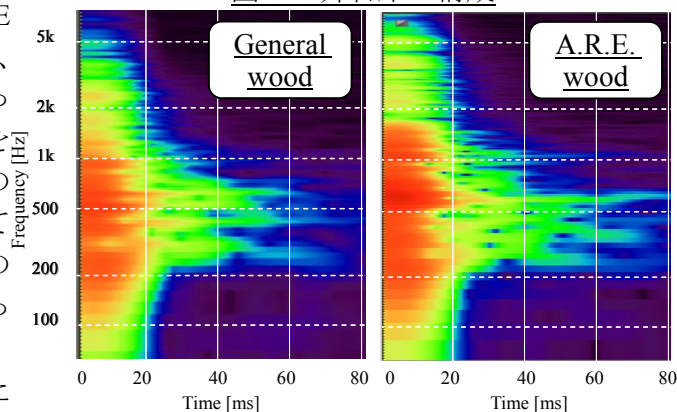


図10 インパルスハンマー加振時の応答

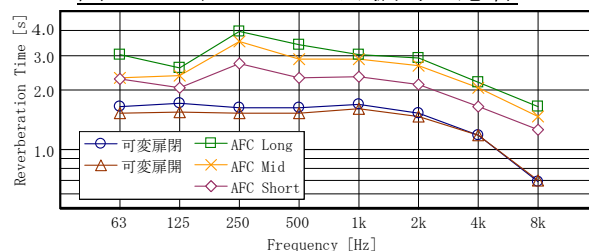


図11 残響時間特性